水泳時の運動性蛋白尿に関する研究

東京大学医学部上田内科教室（上田英雄教授）

東京教育大学体育学部衛生学研究室（北浜 章教授）

須藤 正

STUDIES ON THE EXERCISE PROTEINURIA BY SWIMMING BY

Masashi Suto

Medical Department of Ueda, The University of Tokyo, Faculty of

Medicine (Prof.: Hideo Ueda)

Tokyo University of Education, Department of Physicaleducation

Institute of Hygiene. (Prof.: Akira Kitahama)

梗概 健康な学生の水泳練習時に出現する蛋白尿に注目し、その成因をクリアランス法による腎血行動態面より検討した。まず水泳練習と蛋白尿排泄との時間的關係を見ると、水泳時または水泳直後多数例に蛋白尿が出現するが、若干例においては数時間後あるいは翌日まで持続するものがあり、また合宿により長期間反復運動負荷を行なうとこの傾向の顕著となるを認めた。水泳時、水泳直後は腎血流量の減少著しく、かつこの際減少率の著しいものは尿蛋白の排泄も高度であつた。従つてこの場合の蛋白尿出現機序としては腎血流量減少が重要な役割りをなしていると考えられる。なお著者は疲労発生に関連し、蛋白尿の体育医学的意義についても言及した。

I. 緒 言

健康なものに激しい運動を負荷した際、一過性に蛋白尿の出現することは Leube の報告(1877)以来注目せられ、運動性蛋白尿と称し、食餌性、起立性、神経性、循環性、冷水浴後、圧迫性蛋白尿等とともに生理的蛋白尿の一つにあげられているが、かかる際に腎機能の異常を伴うことは当然予想せられるところである。

さきに協同研究者北浜¹⁾は陸上運動時の蛋白尿出現を運動量との関連において、クリアランス法を応用して腎機能の面より観察し、かかる場合に見られる運動性蛋白尿出現の機序について考察を行ない、かつ疲労構成と蛋白尿排泄との關係についても検討を加え、尿中蛋白証明を疲労判定上の補助的方法として採用せんとする試み²⁾の基礎的

裏付けをなし得た。

著者は水泳練習時にみられる蛋白尿出現に注目し、運動等の環境運動の程度、その結果起こる疲労の発生等の問題を考慮しつつ、蛋白尿ならびに腎機能につき検討を試み、いささかの知見を得たので報告する。

水泳練習は陸上運動とは異なり、運動そのものの他、水中において行なうという特殊な条件があり、更に夏季環境に基づく気温、水温、気流、輻射等の刺激などが加わつて、生体にとっては更に高度のストレスとなり、また合宿練習を行なう場合には、睡眠、食餌、休養等の不足によつて、これら集団生活からうけるストレスも疲労構成に関与することがまた大であらう。

従来、水泳時疲労発生の徴候を、競泳、遠泳等

第1表. 水泳前後における蛋白尿出現

氏名	年齢	型	8月19日(雨天)				8月27日(晴天)				8月28日				9月4日				9月8日			
			運動量	水泳前蛋白尿	水泳後蛋白尿	尿量cc	運動量	水泳前蛋白尿	水泳後蛋白尿	尿量cc	運動量	水泳前蛋白尿	水泳後蛋白尿	尿量cc	運動量	水泳前蛋白尿	水泳後蛋白尿	尿量cc	運動量	水泳前蛋白尿	水泳後蛋白尿	尿量cc
氏名	13	自由	1093	-	+	105	640	-	+	100	1200	-	+	70	800	+	+	100	520	-	+	100
	14	自由	1093	-	+	90	700	-	+	150	900	-	+	190	800	-	+	67	440	-	+	97
	12	自由					780	-	-	30	800	-	-	15	800	-	-	48	600	-	-	8
	13	自由	1093	-	+	93									800	-	+	75	640	-	+	90
	13	自由	1093	-	+	55									800	-	+	118	440	-	+	65
	14	自由	1000	-	+	88									1100	-	+	90	480	-	+	90
	14	自由													800	-	+	80	300	-	+	10
	13	自由																260	-	-	-	95
	14	自由	800	-	+	115																
	13	自由	1000	-	+	65									1100	+	+	80				
	14	自由					720	-	+	65	800	-	+	50				8				
	13	自由					700	-	+	175	0				800	+	-	200				
	13	自由					650	-	+	175	750	-	+	40	800	+	-	185				
	12	自由					600	-	+	45	600	-	+	20	600	+	+	93				
氏名	13	平泳	750	+	+	142	600	-	-	90	700	-	-	150	800	-	+	85	400	-	+	85
	13	平泳					600	-	-	70	600	-	-	80				260	-	-	+	100
	13	平泳					600	-	+	63					800	-	-	58	400	-	+	90
	13	平泳	700	-	+	98									800	-	+	100	340	-	+	105
	14	平泳	1093	-	+	165																
	13	平泳	400	+	+	197																
	14	平泳	800	+	+	85																
	15	平泳					720	-	+	105	800	-	+	70								
	15	平泳									800	-	+	70	400	+	+	65				
							水温 26.7℃ 湿度 83 % 気温 28.0℃				水温 27.3℃ 湿度 60 % 気温 33.0℃				水温 23.8℃ 2m 上 23.8℃ 下 23.6℃				水温 27.4℃ 27℃ 湿度 79 % 83.5% 気温 30.0℃ 28℃			

の前後で蛋白尿あるいはドナジオ反応値その他によつて判定せんとする試みは二、三見られたが、腎血行動態面より詳細な検討を加えた報告は未だ見られないようである。

II. 研究方法ならびに実験成績

A. 水泳と蛋白尿排泄との関係(予備的実験)

a) 実験方法

身体検査により特別な既往ならびに現症を有せざる年齢12~15才の某中学健康男子20名につき、学校内25mプールにおいて、8月下旬より9月上旬にかけ、夏季水泳練習実施時に、表1に示す如く任意の5日間を選んで蛋白尿出現に関する予備的な調査を行なつた。調査日以外は任意に水泳練習を行なわせた。水泳の型は自由型、平泳の二通りであり、水泳の練習時間は大体2時間以内であつた。運動量は水泳を行なつた距離によつて表わし、各人の運動能力に応じて200mより1200mの範囲内にあつた。水泳の直前ならびに水泳練習終了直後に排尿せしめてその間の尿量を記録し、各尿について尿蛋白の検出を試み、前後の比較を行なつた。尿蛋白の検出はスルフォサルチル酸法を

用い、成績を常法に従つて一、±、+、++、+++の各段階に分類し、一、±を反応陰性、+~+++を反応陽性とした。

b) 実験成績

表1に示す如く、水泳前の尿においては測定第1日に12例中2例陽性、第2日11例中陽性者なく、第3日も10例中陽性者なく、第4日15例中3例陽性、第5日12例全例陰性であつた。これを通計すると延べ60回の測定中陽性は5回であり、8.3%となる。水泳後は測定第1日において12例中11例、第2日11例中5例、第3日10例中5例、第4日15例中9例、第5日12例中8例に陽性を見た。通算すると延べ60回の測定の陽性は38回63.3%であつて、水泳の前後において明らかな差を有する。すなわち水泳練習後に蛋白尿出現者が著しく増加している。水泳の型あるいは運動量については明らかな関係を見出し得なかつた。

B. 水泳と蛋白尿排泄との関係(長期間反復水泳練習の影響)

a) 実験方法

被検者は予め身体検査により異常を認め得なか

つた某高校水泳選手14名で、全国高校水泳競技大会出場前の11日間にわたる合宿練習を行なった際に連日次の方法により観察を行なった。1日24時間尿を6分割に分けて採尿し、それぞれの尿について、スルフォサルチル酸法に Kingsburg 比色法を併用して蛋白の検出ならびに定量を行ない、濃度に応じて 0~9mg% を±, 10~49mg を+, 50~140mg を++, 150~299mg% を≡, 300mg 以上を≡に分類した。採尿時間の区分は、第1分割 a.m. 6.00より a.m. 10.00 (起床、朝食、休養), 第2分割 a.m. 10.00より a.m. 12.00 (水泳練習), 第3分割 a.m. 12.00より p.m. 2.00 (昼食、午睡), 第4分割 p.m. 2.00より p.m. 4.00 (再び水泳練習), 第5分割 p.m. 4.00より p.m. 9.00 (夕食、休養), 第6分割 p.m. 9.00より a.m. 6.00 (就寝より翌日起床まで) と定めた。選手は競技種目別に自由型、平泳、背泳の3群に分類した。運動量は1日の水泳距離 (m) × 水泳時間 (分/60) すなわち (m/h) で表わした。

合宿練習中の生活はすべて規則正しく、食餌摂取、睡眠等は努めて共通の条件下におかれるようにした。

b) 実験成績

運動量は競技種目、選手の運動能力により一様でない。また1日における午前、午後の練習量も個々の例によつて一様でなかったが、平均して、ほぼ同程度の運動量となる。

1) 各分割尿における蛋白尿出現の頻度 (図1)

自由型: 7例において、11日間、総計 278回の分割尿につき測定を行なった。各分割尿別に蛋白陽性例の出現率を求めると、第1分割尿64回測定中陽性15回23.4%, 第2分割尿38回中10回26.3%, 第3分割尿33回中31回94%, 第4分割尿48回中17回35.4%, 第5分割尿39回中30回76.9%, 第6分割尿56回中24回42.8%であった。すなわち実際に水泳が行なわれた第2、第4分割尿よりもその後の第3、第5分割尿において陽性例の出現率が最も大であり、かつ≡陽性例がそれぞれ57.6%,

第1図. 各分割尿における蛋白尿出現の頻度

25.6%の頻度で見られた。

平泳: 3例につき計129回の測定を行なった。

第1分割尿については同様に陽性例の出現率29.0%(31回測定中), 第2分割尿31.2%(16回測定中), 第3分割尿 100% (12回測定中), 第4分割尿33.3% (24回測定中), 第5分割尿76.2% (21回測定中), 第6分割尿44.0% (25回測定中)である。

背泳: 4例につき計 161回の測定を行ない、第1分割尿における陽性例の出現率19.5% (41回測定中), 第2分割尿13.6% (22回測定中), 第3分割尿94.7% (19回測定中), 第4分割尿23.3% (30回測定中), 第5分割尿78.9% (19回測定中), 第6分割尿33.3%(30回測定中)である。以上自由型、平泳、背泳の3群を通じ、第3、5分割尿において陽性の出現率が最も高く、運動の型による差を見出し難い。また第1分割尿と第6分割尿について陽性例の出現度を比較すると、後者の方がより

第2図. 長期間反復運動負荷の安静時
蛋白尿出現に及ぼす影響

大であつた。

2) 長期間反復運動負荷の安静時蛋白尿出現に及ぼす影響 (図2)

第1分劃尿ならびに第6分劃尿は非運動時に採尿せられたものであるが、これらの分劃尿につき、蛋白尿出現の状態を経目的に表わしたのが図2である。自由型、平泳、背泳の各群を通じて、運動量は第3～4日を最高として以後漸次減少せしめ、第9、10日目は試合を行なつたに過ぎないが、却つて合宿の後半、すなわち練習日程が進むにつれて、蛋白尿出現の頻度ならびに陽性度大となる傾向が見られた。また第6分劃尿と翌日の第1分劃尿とを比較すると一般に前者の方が陽性度大なる傾向にある。

C. 水泳と腎機能との関係

a) 実験方法

被験者は19～24才の健康な教育大学生11名である。予め身体検査を行ない、特別な既往歴ならびに現症のあるものは除外した。

実験の前日は激しい運動を禁じた。また、実験開始前約30分間は安静を保たしめ、しかる後に臥位にて腎クリアランス、尿量、尿中蛋白濃度、脈拍、血圧、呼吸数等の測定を行ない、これをもつて安静前値となした。

次に15分間の休憩を行なつたのち、約10分間水中に浸り、その間の上記諸数値の測定を行ない、水中静止時の値となし、再び15分間以上の休憩後6～10分間にわたる水泳を行なわしめて測定を行なつた。水泳直後は約15分間の安静をとらしめ、ついで約20分間にわたつて測定を行ない、回復時の値となつた。

腎血流量 (以下 RBF と略) はパラアミノ馬尿酸ソーダ (PAH) クリアランスにより、糸球体濾過値 (以下 GFR と略) は内因性クレアチニン・クリアランスにより算出した。パラアミノ馬尿酸ソーダは津田氏法により、クレアチニンはFolin-IVu 比色法によつて定量した。定量誤差はそれぞれ、3%、5%以内である。クリアランスの測定には接続点滴静注ならびにカテーテル採尿が困難なるために簡易法³⁾を用いたので、比較に正確を期するため、1クリアランス測定毎に新しくPAHを静注し、その後15分間の血中平衡時間を待つて排尿せしめ、しかる後に2回ずつ採血し、その値よりクリアランスを算出した。また実験30分前に約300ccの水をのませ、以後終了まで約30分毎に100～200ccの水を与え、尿量を増し、排尿を容易ならしめた。なお、RBF及びGFRは日本人標準体表面積を1.48m²として補正した¹⁴⁾。クリアランスの変動は前値に比し±15%変動を有意と判定した。6例において更に電解質クリアランスの測定をあわせ行なつた。血漿及び尿中、Na,K濃度は日立 Beckman 型焰光光度計を使用して定量し、

$$\text{Na クリアランス } C_{Na} \left(\frac{U_{Na} \cdot V}{P_{Na}} \right) \text{ cc/min.},$$

$$\text{K クリアランス } C_K \left(\frac{U_K \cdot V}{P_K} \right) \text{ cc/min を算出した。}$$

ここに P_{Na} (mEq/L) は血漿中 Na 濃度、 V (cc/min) は1分間尿排泄量、 U_{Na} (mEq/L) は尿中 Na 濃度であり、 K についても同様である。

第2表. 水泳の腎機能に及ぼす影響

	気温 水温	湿度	RBF cc/min	Δ%	GFR Δ%	FF	尿量 cc/min	尿蛋白 濃度 mg/%	尿蛋白 量 mg/min	脈拍 数	血圧 (平均血圧)	呼吸 数	CNa Δ%	Ck Δ%	最小糸球体濾液蛋白濃度 U _{av} × 100 (mg/dl)	
	24.0℃ 20.4℃ 80%	1 2 3 4	1250 1000 693	0 -20 -48	111 100 166.5	0 -10 -40	0.18 0.20 0.20	17.6 10.3 2.4	0 0 29.2	83 78	120-78(92) 170-70(103)	17 16	3.96 3.38 2.28	-0 -15 -42	0.76 0.93 2.96	0 +22 +290
	25℃ 22℃ 81%	1 2 3 4	1420 1190 848	0 -16 -38	126 114 81.6	0 -10 -35	0.18 0.19 0.18	15.2 13.9 5.5	0 0 91.8	60 65 129	122-72(88) 140-80(100) 180-65(103)	16 19	3.44 1.46 2.76	0 -58 -20	0 0 6.17	0 0 2.91
	34℃ 25.6℃ 63%	1 2 3 4	1566 1378 908	0 -25 -44	115 92.6 75.2	0 -19 -35	0.20 0.21 0.23	5.4 11.5 11.2	0 0 2.5	60 60 80	110-48(69) 140-70(93) 180-50(93)	19 23	4.69 4.77 4.72	0 +2 -9	1.56 2.32 1.34	0 +49 -14
	28℃ 26℃ 61%	1 2 3 4	1190 950 1063	0 -20 -16	148 112 78.8	0 -24 -82	0.18 0.12 0.15	11.6 7.2 3.1	0 74.0 122.5	60 57 92	120-60(80) 160-100(120) 165-65(98)	26 17 23	4.69 4.77 4.25	0 +2 -9	1.56 2.32 1.34	0 +49 -14
	26.5℃	1 2 3 4	751 376 735	0 -50 -2	81.0 48.8 66.0	0 -40 -14	0.21 0.25 0.17	0 0.5 2.2	0 4.2 46.1	0 0.02 1.01	98-130(80) 120-60(80) 135-70(92)	20 23 18	0 0 0	0 0 0	0 0.04 1.53	0 0 0.24
		1 2 3 4	1175 264 1130	0 -78 -4	80.4 26.4 83.5	0 -67 +4	0.13 0.18 0.13	1.95 0.42 1.95	0 29.6 4.6	0 0.04 0.09						1.59 0.18 0
	40℃ 28.5℃ 52%	1 2 3 4	1130 678 1000	0 -40 -11	87.5 71.5 66.5	0 -18 -24	0.15 0.20 0.12	1.49 3.77 2.04	0 8.5 2.3	0 0.32 0.05						0.45 0.98 0.08
	26.5℃	1 2 3 4	985 386 974	0 -61 -9	89.0 39.2 64.4	0 -56 -28	0.14 0.21 0.14	0.86 0.92 0.55	0 47.8 9.4	0 0.44 0.05	66-125-73(90)	28				1.12 0.08 0.08
	29℃ 26.3℃ 74%	1 2 3 4	855 1000 725	0 +17 -15	85.5 55.6 54.8	0 +15 -16	0.14 0.14 0.14	0.73 1.73 6.03	0 0 55.9	0 0 0.37	65-128-70(89) 55-140-72(95) 108-200-50(87)	17 17 27	0.88 1.65 4.57	0 +88 +419	0.37 0.61 1.25	0 +64 +238
	27℃ 26℃ 90.5%	1 2 3 4	761 921 921	0 +29 -1	89.4 105.0 58.7	0 +51 -36	0.16 0.12 0.13	3.50 4.97 2.30	0 86.2 40.3	0 2.13 1.35	115-60(78) 115-75(95) 108-75(89)	16 17 16	1.40 2.49 3.66	0 +57 +93	1.12 0.92 1.02	0 +19 -9
	19℃ 23.7℃ 90%	1 2 3 4	1010 1120 921	0 +11 -9	84.2 98.3 60.0	0 +17 -29	0.17 0.18 0.13	3.16 10.56 4.21	0 0 74.1	0 0 3.12	100-70(80) 125-90(102) 175-80(112)	28 29 30	2.88 4.71 3.68	0 +64 +28	0.99 1.37 1.54	0 +38 +56
	平均値		1043 937 711	-11.8 -33.2 -33.2	93.3 61.6 63.7	-2.9 -36.1 -33.9	0.17 0.17 0.17	6.16 7.80 4.24	0 0 2.16	68 104 73			2.96 3.73 3.41	-0.96 1.83 1.54	0.96 1.83 1.54	0.01 0.01 3.31

尿中蛋白の検出は Exton 法により、定量は光电比色計を用いて Kingsbury 法により測定した。尿蛋白排泄は尿蛋白排泄量，UV prot mg/min のほかに Chindard の最小糸球体濾液蛋白濃度 (Minimum Glomerular Protein Content) $\frac{\text{UV prot}}{\text{GFR}} \times 100\text{mg}\%$ によつても表わした。後者は尿管細管において蛋白の再吸収が全く行なわれないと假定した場合の糸球体濾液中の蛋白濃度を示し、糸球体における蛋白透過性を表わす指標と考えられる。

また実験実施時の気温、水温についても測定を行なった。

b) 実験成績

1) 腎血流量 (表2, 図3, 4). 安静時 RBF は11例で 751~1420cc/M², 平均1063cc/min である。水中静止時8例の値は 376~1190cc/min, 平均 937cc/min で、その中5例は安静前値に比し減少, 2例は増加, 1例は不変を示した。これを

前値に対する増減率で示すと, +29%~-50%, 平均-11.8%である。水泳中における11例の値は 264~1003cc/min, 平均 711cc/min で不変の3例を除き, 他は安静前値よりも減少を示している。その増減率は+29~-78%, 平均-33.2%である。水泳中止後は10例で 294~1130cc/min, 平均 740cc/min で安静前値に比し6例は減少, 4例は不変であつた。またその増減率は-1~-62%, 平均30.5%であつた。なお水泳時の値と比較すると回復傾向にあるもの4例, 不変あるいは更に減少傾向を示すもの6例を数えた。

2) 糸球体濾過値 (表2, 図3, 5). 11例において安静時 GFR は 65.5~148.0cc/min, 平均 96.3cc/min であつた。水中静止時8例の値は, 48.8~112.0cc/min, 平均 93.5cc/min である。この中, 5例は前値に比して減少, 3例は不変に止まつた。増減率で示すと, -40~+51%, 平均-2.7%である。水泳中の値は11例で, 26.4~

第3図. 水泳による腎血流量及び糸球体濾過値の変動

第4図. 水泳による腎血流量の変動

81.6cc/min, 平均61.6cc/min であり, 全例明らかな減少を認め, 減少率は-16~67%, 平均-36.1%であった. 水泳中止後の安静時における10例の値は 26.6~95.0cc/min, 平均63.7cc/min であり, 2例は安静前値にほぼ回復, 他は依然減

第5図. 水泳による糸球体濾過値の増減率

第6図. 水泳による糸球体濾過率の変動

少を示している. すなわち, その増減率は+2~-82%, 平均-33.9%である. なお, 水泳時の値と比較すると4例は増加傾向, 6例は不変乃至更に減少の傾向にあった.

3) 濾過率 (表2, 図6).

安静時11例につき 0.12~0.21 平均 0.170

水中静止時8例につき

0.14~0.25 平均 0.194

水泳時11例につき 0.12~0.23 平均 0.171

水泳中止後 0.12~0.25 平均 0.173

であり, 水中静止時に濾過率の増大する傾向を認めた.

4) 血圧, 脈拍数 (表2, 3, 図7).

9例において安静時最大血圧 100~128mmHg,

第3表. 水泳時による血圧の変動

	安 静 時	水中静止時	水 泳 時	水泳後安静時
収縮期血圧	100~128	120~170	135~200	115~130
例 数	9	8	7	5
平 均	119	141	177	121
拡張期血圧	48~80	60~100	50~80	70~80
例 数	9	8	7	4
平 均	68	77	58	76
平均血圧	69~97	93~120	87~112	86~96
例 数	9	8	7	4
平 均	84	99	98	91

第7図. 水泳による血圧の変動

平均 119mmHg, 最小血圧48~80mmHg, 平均68mmHgである。脈拍数の平均は68/min, であつた。水中静止時においては8例で, 最大血圧 120~170mmHg, 平均 141mmHg. 最小血圧60~100mmHg, 平均77mmHgであり, 1例を除き前値よりも上昇を示した。脈拍数の平均は61/min である。

水泳時においては7例で最大血圧 135~200mmHg, 平均 177mmHg, 最小血圧50~80mmHg, 平均58mmHgで最大血圧は上昇, 最小血圧は下降の傾向にあり, 従つて脈圧は増大を示した。脈拍数の平均は104である。

水泳後安静時5例において最大血圧 115~130mmHg, 平均 121mmHg, 最小血圧70~80mmHg, 平均76mmHg. 脈拍数の平均は73/min でいずれも安静前値に回復の傾向が認められた。

5) 分時尿量.

第8図. 水泳による電解質クリアランスの変動

安静時10例の平均6.16cc/min, 水中静止時8例平均7.80cc/min, 水泳時11例平均4.24cc/min, 水泳後安静時10例平均2.91cc/min であり, 水泳中ならびに水泳後に減少の傾向が見られた。

6) 尿中蛋白排泄量.

安静時軽度尿蛋白陽性を示した1例を除き, 他の9例は尿蛋白(一), 水中静止時においても1例を除き, 他は陰性であつた。水泳時においては10例全部が尿蛋白陽性で, 0.85~4.13mg/min, 平均2.16mg/min の排泄をみた。水泳後においても依然として全例陽性であり, 測定せる9例について0.05~3.80mg/min, 平均0.99mg/min の排泄を見たが, 水泳時に比して排泄量は減少の傾向にある。

7) 最小糸球体濾液蛋白濃度.

安静時平均0.01mg/dl, 水中静止時0.01mg/dl, 水泳時3.31mg/dl, 水泳後2.44mg/dlで, 水泳時に上昇し, 以後回復の傾向にある。

8) 電解質クリアランス (図8 (i) (ii)).

i) Naクリアランス (C_{Na})

6例につき測定を行なった。それぞれの平均は安静時2.96cc/min, 水中静止時3.16cc/min, 水泳時3.73cc/min, 水泳後3.41cc/minであり, 水泳時に減少せるもの2例, 不変1例, 増加せるもの3例で一定の傾向はみられない。

ii) Kクリアランス (C_K)

測定せる5例につき, 平均値を求めると, 安静時0.96cc/min, 水中静止時1.23cc/min, 水泳時1.83cc/min, 水泳後1.54cc/minであり, 水泳時において不変の1例を除いて増加の傾向が見られる。

9) 蛋白尿と腎機能との関係 (図9 (i), (ii),

第9図 i). 尿中蛋白排泄量と腎血流増減率との関係

第9図 ii). 尿中蛋白排泄量と糸球体濾過値増減率との関係

図10 (i), (ii), 図11).

縦軸に尿中蛋白排泄量, 横軸にRBFあるいはGFRの安静前値に対する増減率をプロットすると, 図に示す如くRBF, GFRともに減少率の

第10図 i). 腎血流量増減率と蛋白尿との関係

第10図 ii). 糸球体濾過値増減率と蛋白尿との関係

第11図 i). 最小糸球体濾液蛋白濃度と腎血流量増減率との関係

著しいものに尿中蛋白排泄高度のものがみられる。しかしながら尿中蛋白排泄量とRBFあるいはGFR増減率の間には明らかな相関関係に乏し。

第11図 ii). 最小糸球体濾液蛋白濃度と糸球体濾過値増減率との関係

第4表. エルゴメータ運動負荷及び水中運動負荷の腎機能に及ぼす影響

		RBF	GFR	FF	尿中蛋白排泄量/分
	前	761	69.4	0.16	0
	水泳	900	58.6	0.12	4.2
	水泳後	750	56.0	0.13	1.3
	前	792	89.8	0.21	0
	10	686	72.2	0.19	0
	20	698	80.9	0.21	0
	前	1130	87.5	0.15	0.04
	水泳	678	71.5	0.20	0.32
	水泳後	1000	66.5	0.12	0.05
	前	1410	87.5	0.14	0
	10	1096	95.0	0.20	0
	20	1520	93.5	0.14	0.38
	前	1175	80.4	0.12	0
	水泳	264	26.4	0.18	0.42
	水泳後	1130	83.5	0.13	0.09
	前	1220	110.8	0.20	0
	10	645	90.5	0.30	0.17
	20	670	57.6	0.19	0.17
	前	751	81.0	0.21	0
	水泳	735	66.0	0.17	1.00
	水泳後	284	37.9	0.25	0.86
	前	751	81.0	0.21	0
	10	747	78.0	0.20	0
	前	985	89.0	0.19	0.07
	水泳	386	39.2	0.21	0.44
	水泳後	976	64.4	0.14	0.05
	前	1094	93.0	0.17	0
	10	1180	127.4	0.22	0
平均	前	960.4	81.46	0.166	0.02
	水泳	592.6	52.34	0.176	1.276
	水泳後	828.0	61.66	0.154	0.47
	前	1053.4	92.42	0.186	0
	10	870.8	92.42	0.222	0.034
	20	962.7	77.33	0.180	0.183

い。図10は尿中蛋白陽性群と陰性群に分けて、RBF : GFRの増減率を比較したものであるが、いずれも陽性群において減少率が大である。最小糸球体濾液蛋白濃度とRBF及びGFR増減率（図11 (i), (ii)）との間にも同様に著明な比例関係は認められないが、RBF及びGFR減少の著しいものに最小糸球体濾液蛋白濃度の大きなものが認められた。

D. エルゴメータ運動負荷と水泳負荷との比較（表4, 図12）

a) 実験方法

被検者がメーターを見ながら、運動量を調節し得る自転車エルゴメーターを使用し、これに20kgの重錘を负荷し、指針10および20の運動を行なわせ、その前後においてクリアランス法によりRBF, GFRならびに尿中蛋白排泄量を測定し、同一例における水泳負荷時の成績と比較した。なお方法の詳細は既に発表済みであるから省略する。

第12図. エルゴメータ運動負荷及び水中運動負荷の腎機能に及ぼす影響

対照5例は前項検査に用いたものの一部である。

b) 実験成績

i) 陸上運動

安静時5例の平均は RBF 1053.4cc/min, GFR 92.42cc/min, F.F. 0.186, 尿蛋白は陰性, 指針10の運動負荷では RBF 870.8cc/min. (-17.3%), GFR 92.62cc/min, F.F. 0.222, 尿蛋白排泄量は 0.034mg/min, 指針20の運動負荷では3例の平均で RBF 962.7cc/min (-7.6%), GFR 77.33cc/min (-16.3%), F.F. 0.180, 尿中蛋白排泄量は 0.183mg/min である。

ii) 水泳負荷

安静時 RBF 5例平均 960.4cc/min, GFR 81.46cc/min, 尿中蛋白排泄量 0.02mg/dl, 水泳中 RBF 592.6cc/min, (-38.2%), GFR 52.34cc/min, (-35.7%), F.F. 0.176, 尿中蛋白排泄量 1.276mg/dl, 水泳中止後安静時 RBF 828.0cc/min (-13.4%), GFR 61.66cc/min (-24.3%), F.F. 0.154, 尿中蛋白排泄量 0.47mg/dl であつた。前記エルゴメーター運動負荷実験の成績と比較すると, 水泳中は RBF, GFR の減少が著しく, 尿中蛋白排泄量も RBF 減少に対応して大である。水泳中止直後安静時の値もまだ十分に安静前値に回復せず, エルゴメーター運動負荷時の値に比しなお減少した状態に止まっている。尿中蛋白排泄量もまたエルゴメーター運動時に比し依然として大である。

III. 考 案

実験Aは20例の健康な中学生につき水泳の前後で蛋白尿排泄を予備に観察したもので, 63.3%の例に水泳後尿蛋白陽性となることが示された。これにより水泳が蛋白尿を誘発していることは明らかである。さきに Macfarlane⁸⁾, Collier⁶⁾, Barach⁷⁾ 等は運動選手において競技後殆ど 100% 近く蛋白尿の出現する事実を認めたが, これらの所見と一致する成績であつた。なお, 本予備実験は通常の中学生課外教育の一環としての夏季水泳練習実施中, 任意の日を選んで行なつたもので, 検査施行前の状態, 運動量, 水泳の型等について

は特に考慮を払わなかつた。

実験Bは高校生の水泳合宿練習の機会をとらえて, 尿を分割的と採取し, 水泳と蛋白尿出現との時間的關係を観察したものである。

成績によれば, 自由型, 平泳, 背泳, いずれも運動後, 蛋白尿出現率の著しく増大することが証明せられた。しかしながら, 実際に運動を行なつたときの第2, 第4分割尿よりも水泳終了後の第3, 第5分割尿において, 陽性率が大きであつた。これは水泳中尿排泄量の著減により水泳終了時完全に排泄を行なうことが困難であつたためとも考えられるが, 一方後述の如く運動中止後もなお蛋白尿生成の原因となる機序の存続する可能性をも示唆する所見と考える。

実験Cに示す如く, 水中安静時, 水泳中すべて血圧の上昇, 脈拍増大の傾向を伴っている。Euler & Hellner⁹⁾ は, ヒトが激しい筋肉労作に際し, 尿中カラコラミン排泄の亢進を報告し, 同様に Wada, Seo & Abe¹⁰⁾ はイヌで激しい筋肉労作に際し, 副腎よりのアドレナリン分泌が著しく増大し, かつこのアドレナリン分泌に対する効果は労作量によらず, 主として疲労や生体に加えられたストレスの程度によつてきまると述べている。一方イヌの全身を冷却せしめるとアドレナリン分泌の著しく亢進することを報告している¹¹⁾。従つてこれら血圧ならびに脈拍数の変化は副腎より分泌せられたアドレナリン乃至交感神経緊張の全部に及ぼす影響の一つの表現と考えられる。運動時の腎機能に関しては White¹²⁾, Chapman¹³⁾, Barclay¹⁴⁾, 村田¹⁵⁾等の報告が見られ, いずれも RBF, 尿量の減少を報告している。著者の成績も同様に水泳中は血圧上昇, 脈拍大とともに平均-33.2%の減少率を示した。なお, 水泳中のみならず, 既に水中安静時にも RBF 平均-11.8%の減少傾向を認めた。また水泳中止後は平均-30.5%の減少率で, 血圧, 脈拍数とともに漸次回復の傾向にある。GFRについてはほぼ RBF と同様の変化を示した。従つてこれら腎機能における異常は全身のカラコラミン作用乃至交感神経緊張に

附随して現われた変化と思われる。なお F.F. については一定の傾向が見られなかつた。また、北浜、村田の運動時電解質クリアランスに関する成績では Ck, CNa とともに減少する傾向あるを認めている。

著者の成績においては一定の傾向なく、Ck はむしろ水泳時増加するものが認められた。腎機能と蛋白尿との関係を見ると蛋白尿排泄は RBF 減少率の著しい例で高度のものが見られた。蛋白尿の成因として、従来二、三の假説が立てられているが¹⁶⁾¹⁷⁾¹⁸⁾、著者の水泳時蛋白尿生成には RBF 減少が最も重大なる関与をなしていることは想像にかたくない。相坂¹⁸⁾は腎 O₂ 供給量(動脈血 O₂ 含量×RBF)が約30%以下に減少すると糸球体毛細管の透過性が亢進し、蛋白尿が出現することを証明したが、著者の場合3例において動脈血 O₂ 含量の著しい低下を認め得なかつた(表5)。従つて RBF の変動はほぼ腎 O₂ 供給量に平行するものと考ええる。

第5表. 水泳時の動脈血 O₂, CO₂ 含有量

		動脈血 CO ₂ 含量 (Vol %)	動脈血 O ₂ 含量 (Vol %)
■	安静時	46.91	19.67
	水泳中	26.42	18.22
	変化	-20.49	-1.45
■	安静時	38.15	15.41
	水泳中	28.70	13.86
	変化	-9.45	-1.55
■	安静時	53.35	25.14
	水泳中	44.20	23.37
	変化	-9.15	-1.77
変化の平均		-13.03	-1.59

本水泳実験においては、北浜の Ergometer 運動負荷実験に比して RBF 減少がはるかに高度であり、かつ蛋白尿出現も高度であつた。これは運動量の激しさもさることながら、水中安静時に RBF 減少の見られること、冷水浴あるいは寒冷試験時に蛋白尿出現を観察した報告¹⁹⁾も見られることより、水中という特殊環境条件下の影響が加わっているに基づくものと考えられる。著者の実験に示す如く、RBF 減少と尿中蛋白排泄量との間には必ずしも一様の平行関係を証明し得なかつた。

これは著者の水泳時クリアランス測定が、いわゆる Steady State 下で行なつたものではなく、ある時間内の平均について測定したものであること、PAH 摂取率を一定として RBF を算出したこと等のために、真の RBF の変動を知り得なかつたことにもよろうが、一方相坂の指摘する如く、糸球体蛋白透過性亢進による蛋白尿の排泄には、長時間の RBF の持続的減少による糸球体濾過膜の虚血性障害を必要とし、蛋白尿排泄は RBF の減少と同時に起こるものではなく、ある時間のずれをもつて出現するとの観察によつて説明し得られる。

実験 B において、水泳からかなりの時間を経、かつ安静時の尿と考えられる第1、第4、第6分割尿においてもなお約20~40%の陽性者が出現したこと²⁾、合宿の経過に従いこれらの分割尿の蛋白出現を観察すると合宿の後半においては運動量が却つて減少しているにも拘らず、蛋白尿が出現しやすくなり、かつ漸次回復も遅延していることより、蛋白尿の出現をもつて直ちに疲労と結びつけることはできないとしても、疲労状態を判定する重要な要素となすことは誤りないものと考えられる。すなわち合宿練習が行なわれる際には、運動ならびにその他のストレスが過剰のために翌日までその影響が持越され、いわゆる蓄積疲労を構成し蛋白尿出現に至つたものと考えられる。さきに北浜はこれらの事実を休養時の RBF が合宿日程の進行とともに減少する傾向のあることによつて説明した。Collier 等は運動性蛋白尿はこれらの原因となる負荷が去つてしまえばもはや蛋白尿を説明し得なくなり、後に腎に有害な結果を來たすことはないとして述べている。しかしながら、以上の如く運動によつ蛋白尿が出現する時には腎血行状態よりして、一過性とはいえ、腎機能に明らかな異常を認めるのであるから、更に引続き水泳を負荷するときには一過性の異常状態を持続的な病的状態へと導く可能性もまた考えられる。特に年少者、未熟練者、虚弱者等についてはその危険性が大であると考えられる。従つて水泳練習を如何に

行なうべきであるかということは重要な問題として残されよう。集団的に水泳を行なうに当つては参加者の年齢、性、水泳経験の有無、健康状態等必ずしも一様でないのであるから、指導監督にあたる者はこれらの点に充分留意して実施する必要があると考えられる。

IV. 総括ならびに結論

健康男子について水泳練習時の運動性蛋白尿出現ならびに腎機能の観察を行ない、次の所見を得た。

1) 健康男子中学生20例について、約2時間の水泳練習後63.3%の例に蛋白尿の出現をみた。

2) 男子高校水泳選手14例につき11日間の合宿練習中、全日尿を6分割し、各分割尿につき水泳練習と蛋白尿出現との時間的關係を観察して運動時ならびに運動直後、蛋白尿が出現するが、若干例においては数時間後または翌日においてもなお蛋白尿が陽性となる事実を認めた。この傾向は合宿日程が進むにつれて顕著となつた。

3) 安静時、水中静止時、水泳時、水泳中止直後の腎機能をクリアランス法によつて測定し、水中静止時腎血流量(RBF) - 11.8%, 糸球体濾過値(GFR) - 2.9%, 水泳時それぞれ - 33.2%, - 36.1%の減少を見た。水泳中止直後ではそれぞれ - 30.5%, - 33.9%で軽度であるが前値に回復の傾向を認めた。

4) 腎機能と蛋白尿との關係を検討し、腎血流量(RBF)減少率の著しい例で、蛋白尿排泄高度の例が認められた。

5) 同一例につき Ergometer 運動負荷と水泳負荷とを比較すると、後者がはるかに腎機能と蛋白尿排泄に大なる影響を及ぼすことを認めた。

6) 以上より水泳時に見られる蛋白尿出現の機序につき若干の考察を加え、その体育医学的意義について述べた。

(本論文の要旨は、昭和30年4月、第19回日本循環器学に発表、及び昭和30年4月、第7回日本体力医学会に発表した。)

文 献

- 1) 北浜：日内会誌, 46 : 1380, 1958. — 2) 学術研究会議疲労研究班著：創元社, 昭25. — 3) 大島：日内会誌, 41 : 238, 昭27. — 4) 大島, 金子：日本臨床, 9 : 3, 1951. — 5) Chinard, E.P. et al.: J. Clin. Invest., 33 : 621, 1954. — 6) Collier, W.: Brit. Med. J., 1 : 4, 1907. — 7) Barach, J.H.: Am. J. Med. Sc., 159 : 398, 1920. — 8) Macfarlane: Med. Record., 46 : 769, 1894. — 9) Euler, U.S.v. & Hellner, S.: Acta Physiol. Scandinav., 26 : 183, 1952. — 10) Wada, M. et al.: Tohoku J. Exper. Med., 26 : 381, 1935. — 11) Wada, M. et al.: Tohoku J. Exper. Med., 27 : 65, 1935. — 12) White, H. & Rolfe, D.: Am. J. Physiol., 152 : 505, 1948. — 13) Chapman, C.B. et al.: J. Clin. Invest., 27 : 639, 1948. — 14) Barclay, S. et al.: Am. J. Physiol., 151 : 621, 1947. — 15) 村田：日内会誌, 46 : 253, 1957. — 16) Addis, J.: Acta Med. Scandinav., 35 : 194, 1949. — 17) 大島等：最新医学, 11 : 176, 1956. — 18) 相坂：日内会誌, 46 : 1165, 1957. — 19) Chesley, L.C. et al.: J. Clin. Invest., 18 : 51, 1938.